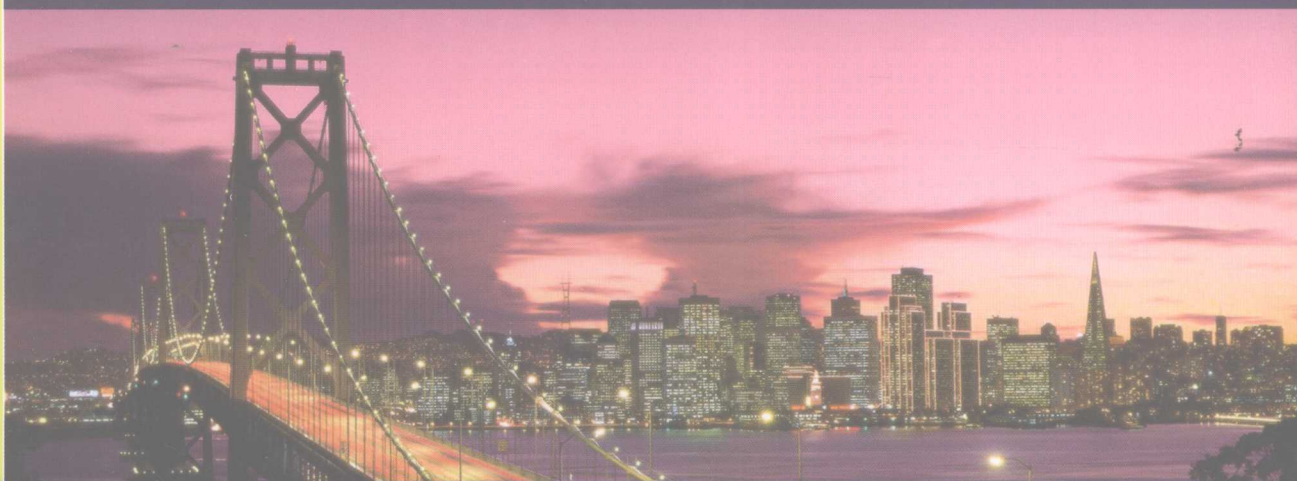


电子工程技术丛书

半导体 照明技术

Semiconductor
Lighting Technology

● 方志烈 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

电子工程技术丛书

半导体照明技术

方志烈 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书在介绍半导体照明器件——发光二极管的材料、机理及其制造技术的同时，详细讲解了器件的光电参数测试方法，器件的可靠性分析、驱动和控制方法，以及各种半导体照明的应用技术。本书内容系统、全面，通过理论联系实际，重点突出了“半导体照明”主题，反映了国内外最新的应用技术。

本书可供半导体照明方面的科研人员和工程技术人员参考，也可作为高等院校相关专业的教学参考书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

半导体照明技术/方志烈编著. —北京: 电子工业出版社, 2009.5

(电子工程技术丛书)

ISBN 978 - 7 - 121 - 08729 - 5

I. 半… II. 方… III. 半导体技术 - 应用

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009)

责任编辑: 雷洪勤

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787 × 1092 印张: 24.25 字数: 620 千字

印 次: 2009 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 49.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

半导体照明是指用全固态发光器件(发光二极管,即LED,是由半导体材料制成的光电器件,可将电能转换为光能)作为光源的照明,具有高效、节能、环保、寿命长、易维护等显著特点,是近年来全球最具发展前景的高新技术领域之一,是人类照明史上继白炽灯、荧光灯之后的又一场照明光源的革命。半导体照明有着巨大的市场与技术创新空间,对提升传统照明工业、带动相关产业发展,扩大就业、培育新的经济增长点,意义重大。

自2003年6月启动国家半导体照明工程以来,以节能、环保,实现绿色照明,促进传统照明产业升级,培育有国际竞争力的半导体照明新兴产业为目标,以“政府引导、企业主体、市场化运作”为原则,经过几年努力,已经形成了从上游材料、芯片到中、下游封装、应用的比较完整的研发与产业体系。到2008年我国半导体照明产业产值已达700亿元,芯片国产化率接近50%,企业总数突破3000家。我国已成为LED全彩屏、太阳能LED灯、景观照明等应用产品世界最大的生产和出口国,以及国际重要的LED器件封装基地。我国半导体照明产业进入了自主创新、实现跨越式发展的重大历史机遇期,正迎来蓬勃发展的春天。预计2010年产业规模将达1000亿元。

本书作者从事发光二极管科研和教学工作近40年,曾于1992年编著出版《半导体发光材料和器件》一书,以信息显示为主要内容。近20年的发展,LED发光效率提高了100倍,特别是蓝光和白光LED的发展,使之成为照明领域的新秀。半导体照明科研和产业的发展迫切需要一本半导体照明技术方面的专著。本书从半导体发光器件和照明两个角度,在介绍半导体照明器件——发光二极管的材料、机理及其制造技术的同时,详细阐述了器件的光电参数测试方法、器件的可靠性分析、驱动和控制方法,以及各种半导体照明的应用技术。

本书内容系统、全面,理论联系实际,重点突出了“半导体照明”主题,反映了国内外最新的技术进展,书中有些内容也反映了作者及其同事们在这一领域的科研成果。

我们希望本书对半导体照明的研发和应用感兴趣的相关人员有所帮助。本书可供高等学校有关专业的教师和学生阅读,也可供从事半导体照明研究和制造的科研人员和生产技术人员参考。

国家半导体照明工程研发及产业联盟秘书长

北京新材料科技促进中心主任

2009年5月4日

第1章 光 视觉 颜色	1
1.1 光	1
1.1.1 光的本质	1
1.1.2 光的产生和传播	3
1.1.3 人眼的光谱灵敏度	6
1.1.4 光度学及其测量	8
1.2 视觉	13
1.2.1 作为光学系统的人眼	13
1.2.2 视觉的特征与功能	14
1.3 颜色	19
1.3.1 颜色的性质	19
1.3.2 国际照明委员会色度学系统	20
1.3.3 色度学及其测量	24
第2章 光源	28
2.1 自然光源	28
2.1.1 太阳	28
2.1.2 月亮和行星	29
2.2 人工光源	29
2.2.1 人工光源的发明与发展	29
2.2.2 白炽灯	30
2.2.3 卤钨灯	31
2.2.4 荧光灯	32
2.2.5 低压钠灯	33
2.2.6 高压放电灯	34
2.2.7 无电极放电灯	35
2.2.8 发光二极管	36
2.2.9 照明的经济核算	37
第3章 半导体发光材料晶体导论	39
3.1 晶体结构	39
3.1.1 空间点阵	39
3.1.2 晶面与晶向	40
3.1.3 闪锌矿结构、金刚石结构和纤锌矿结构	41
3.1.4 缺陷及其对发光的影响	43

3.2	能带结构	46
3.3	半导体晶体材料的电学性质	51
3.3.1	费米能级和载流子	51
3.3.2	载流子的漂移和迁移率	52
3.3.3	电阻率和载流子浓度	53
3.3.4	寿命	53
3.4	半导体发光材料的条件	54
3.4.1	带隙宽度合适	54
3.4.2	可获得电导率高的 P 型和 N 型晶体	54
3.4.3	可获得完整性好的优质晶体	54
3.4.4	发光复合概率大	54
第 4 章	半导体的激发与发光	56
4.1	PN 结及其特性	56
4.1.1	理想的 PN 结	56
4.1.2	实际的 PN 结	63
4.2	注入载流子的复合	65
4.2.1	复合的种类	65
4.2.2	辐射型复合	65
4.2.3	非辐射型复合	68
4.3	辐射与非辐射复合之间的竞争	69
4.4	异质结构和量子阱	69
4.4.1	异质结构	69
4.4.2	量子阱	70
第 5 章	半导体发光材料体系	74
5.1	砷化镓	75
5.2	磷化镓	76
5.3	磷砷化镓	77
5.3.1	$\text{GaAs}_{0.60}\text{P}_{0.40}/\text{GaAs}$	78
5.3.2	晶体中的杂质和缺陷对发光效率的影响	79
5.4	镓铝砷	79
5.5	铝镓铟磷	80
5.6	铟镓氮	81
第 6 章	半导体照明光源的发展和特征参量	84
6.1	发光二极管的发展	85
6.2	发光二极管材料生长方法	87
6.3	高亮度发光二极管芯片结构	88
6.3.1	单量子阱(SQW)结构	88
6.3.2	多量子阱(MQW)结构	89
6.3.3	分布布拉格反射(DBR)结构	89

6.3.4	透明衬底技术(Transparent Substrate, TS)	89
6.3.5	镜面衬底(Mirror Substrate, MS)	89
6.3.6	透明胶质黏结型	89
6.3.7	表面纹理结构	89
6.4	照明用 LED 的特征参数和要求	89
6.4.1	光通量(lm/灯)	90
6.4.2	发光效率(lm/W)	90
6.4.3	显色指数(CRI、 R_a)	91
6.4.4	色温	92
6.4.5	寿命	92
6.4.6	稳定性	93
6.4.7	热阻	93
6.4.8	抗静电性能	93
第7章	磷砷化镓、磷化镓、镓铝砷材料生长	94
7.1	磷砷化镓氢化物气相外延生长(HVPE)	94
7.2	氢化物外延体系的热力学分析	96
7.3	液相外延原理	99
7.4	磷化镓的液相外延	103
7.4.1	磷化镓绿色发光材料外延生长	103
7.4.2	磷化镓红色发光材料外延生长	104
7.5	镓铝砷的液相外延	105
第8章	铝镓铟磷发光二极管	108
8.1	AlGaInP 金属有机物化学气相沉积通论	108
8.1.1	源材料	108
8.1.2	生长条件	110
8.1.3	器件生长	113
8.2	外延材料的规模生产问题	116
8.2.1	反应器问题:输送和排空处理	116
8.2.2	均匀性的重要性	116
8.2.3	源的质量问题	117
8.2.4	颜色控制问题	117
8.2.5	生产损耗问题	118
8.3	电流扩展	118
8.3.1	欧姆接触的改进	119
8.3.2	p 型衬底上生长	119
8.3.3	电流扩展窗层	119
8.3.4	氧化铟锡(ITO)	120
8.4	电流阻挡结构	120
8.5	光的取出	121

8.5.1	上窗设计	121
8.5.2	衬底吸收	123
8.5.3	分布布拉格反射 LED	124
8.5.4	GaP 晶片黏结透明衬底 LED	125
8.5.5	胶质黏着(蓝宝石晶片黏结)	126
8.5.6	纹理表面结构	126
8.6	芯片制造技术	128
8.7	器件特性	128
第9章	镓氮发光二极管	130
9.1	GaN 生长	130
9.1.1	未掺杂 GaN	131
9.1.2	n 型 GaN	132
9.1.3	p 型 GaN	133
9.1.4	GaN p-n 结 LED	133
9.2	InGaN 生长	133
9.2.1	未掺 InGaN	133
9.2.2	掺杂 InGaN	134
9.3	InGaN LED	135
9.3.1	InGaN/GaN 双异质结 LED	135
9.3.2	InGaN/AlGaN 双异质结 LED	136
9.3.3	InGaN 单量子阱(SQW)结构 LED	136
9.3.4	高亮度绿色和蓝色 LED	138
9.3.5	InGaN 多量子阱(MQW)结构 LED	139
9.3.6	紫外 LED	139
9.3.7	AlGaN 深紫外 LED	140
9.3.8	硅衬底 GaN 蓝光 LED	140
9.4	提高质量和降低成本的几个重要技术问题	141
9.4.1	衬底	141
9.4.2	缓冲层	143
9.4.3	激光剥离(LLO)	144
9.4.4	氧化铟锡(ITO)	144
9.4.5	表面纹理结构	145
9.4.6	图形衬底侧向外延技术(LEPS)	145
9.4.7	微矩阵发光二极管(MALED)	146
9.4.8	光子晶体(Photonic Crystal,PC)LED	146
9.4.9	金属垂直光子 LED(MVP LED)	148
第10章	LED 芯片制造技术	149
10.1	光刻技术	149
10.2	氮化硅生长	150

10.3	扩散	151
10.4	欧姆接触电极	153
10.5	ITO 透明电极	155
10.6	表面粗化	157
10.7	光子晶体	157
10.8	激光剥离(Laser Lift-off, LLO)	158
10.9	倒装芯片技术	159
10.10	垂直结构芯片技术	160
10.11	芯片的切割	160
10.12	LED 芯片结构的发展	161
第 11 章	白光发光二极管	164
11.1	新世纪光源的研制目标	164
11.2	人造白光的最佳化	164
11.2.1	发光效率和显色性的折中	164
11.2.2	二基色体系	166
11.2.3	多基色体系	167
11.3	荧光粉转换白光 LED	168
11.3.1	二基色荧光粉转换白光 LED	168
11.3.2	多基色荧光粉转换白光 LED	170
11.3.3	紫外 LED 激发多基色荧光粉	170
11.4	多芯片白光 LED	171
11.4.1	二基色多芯片白光 LED	171
11.4.2	多基色多芯片白光 LED	173
第 12 章	LED 封装技术	175
12.1	LED 器件的设计	175
12.1.1	设计原则	175
12.1.2	电学设计	175
12.1.3	热学设计	176
12.1.4	光学设计	177
12.1.5	视觉因素	179
12.2	LED 封装技术	181
12.2.1	小功率 LED 封装	181
12.2.2	SMD LED 的封装	184
12.2.3	大电流 LED 的封装	185
12.2.4	功率 LED 的封装	185
12.2.5	功率 LED 组件	194
12.2.6	铟镓氮类 LED 的防静电措施	197
第 13 章	发光二极管的测试	200
13.1	发光器件的效率	200

13.1.1	发光效率	200
13.1.2	功率效率	200
13.1.3	量子效率	200
13.2	电学参数	201
13.2.1	伏安特性	201
13.2.2	总电容	202
13.3	光电特性参数——光电响应特性	203
13.4	光度学参数	203
13.4.1	法向光强 I_0 的测定	203
13.4.2	发光强度角分布(半强度角和偏差角)	204
13.4.3	总光通量的测量	205
13.4.4	量值传递	207
13.5	色度学参数	208
13.5.1	光谱分布曲线	208
13.5.2	光电积分法测量色度坐标	209
13.6	热学参数(结温、热阻)	209
13.7	静电耐受性	211
第14章	发光二极管的可靠性	212
14.1	LED 可靠性概念	212
14.1.1	可靠性的含义	212
14.1.2	可靠度的定义	213
14.1.3	LED 可靠性的相关概念	213
14.2	LED 的失效分析	216
14.2.1	芯片的退化	218
14.2.2	环氧系塑料的寿命分析	221
14.2.3	管芯的寿命分析	223
14.2.4	荧光粉的退化	223
14.3	可靠性试验	225
14.3.1	小功率 LED 环境试验	226
14.3.2	功率 LED 环境试验	227
14.4	寿命试验	227
14.4.1	磷化镓发光器件的寿命试验	227
14.4.2	功率 LED(白光)长期工作寿命试验	228
14.4.3	加速寿命试验	228
14.5	可靠性筛选	231
14.5.1	功率老化	231
14.5.2	高温老化	231
14.5.3	湿度试验	231
14.5.4	高低温循环	231

14.5.5 其他项目的选用	231
14.6 例行试验和鉴定验收试验	232
14.6.1 例行试验	232
14.6.2 鉴定验收试验	232
第15章 有机发光二极管	233
15.1 有机发光二极管材料	233
15.1.1 小分子有机物	233
15.1.2 高分子聚合物	234
15.1.3 镧系金属有机化合物	234
15.2 有机发光二极管的结构和原理	234
15.3 OLED 实现白光的途径	234
15.3.1 波长转换	234
15.3.2 颜色混合	235
15.4 有机发光二极管的驱动	239
15.5 有机发光二极管研发现状	241
15.6 白光 OLED 发展趋势和实用化预测	242
第16章 半导体照明驱动和控制	244
16.1 LED 驱动技术	244
16.1.1 LED 的电学性能特点	244
16.1.2 电源驱动方案	244
16.1.3 驱动电路基本方案	245
16.1.4 LED 驱动器的特性	249
16.1.5 LED 与驱动器的匹配	250
16.2 LED 驱动器	253
16.2.1 电容降压式 LED 驱动器	253
16.2.2 电感式 LED 驱动器	254
16.2.3 电荷泵式 LED 驱动器	254
16.2.4 LED 恒流驱动器	256
16.3 LED 集成驱动电路	256
16.3.1 电荷泵驱动 LED 的典型电路	256
16.3.2 开关式 DC/DC 变换器驱动 LED 的典型电路	265
16.3.3 限流开关 TPS2014/TPS2015	272
16.3.4 六路串联白光 LED 驱动电路 MAX8790	274
16.3.5 集成肖特基二极管的恒流白光 LED 驱动器 LT3591	276
16.3.6 低功耗高亮度 LED 驱动器 LM3404	277
16.3.7 具有诊断功能的 16 通道 LED 驱动器 AS1110	279
16.3.8 LED 集成驱动电路资料摘编	280
16.4 控制技术	282
16.4.1 调光	282

16.4.2	调色	283
16.4.3	调色温	284
16.4.4	智能照明	284
第17章	半导体照明应用	285
17.1	半导体照明应用产品开发原则	285
17.1.1	要从LED的优点出发开发应用产品	285
17.1.2	应用产品市场起动的判据——照明成本	286
17.1.3	应用产品的技术关键是散热	286
17.1.4	遵循功率由低到高、技术由易到难的原则	287
17.1.5	造型设计要创新	287
17.1.6	照明灯具通则	287
17.2	LED显示屏	295
17.2.1	总体发展规模	295
17.2.2	产品技术完善、新品继续拓展	295
17.3	交通信号灯	296
17.3.1	道路交通信号灯	297
17.3.2	铁路信号灯	299
17.3.3	机场信号灯	302
17.3.4	航标灯	302
17.3.5	路障灯	302
17.3.6	航空障碍灯	302
17.4	景观照明	303
17.4.1	城市景观照明的功能作用	303
17.4.2	光源选择以LED为佳	305
17.4.3	LED景观灯具	305
17.4.4	LED景观照明典型工程	312
17.4.5	景观照明走向规范化	316
17.5	手机应用	316
17.6	汽车用灯	317
17.7	LCD显示背光源	318
17.7.1	LED背光源的技术和市场状况分类概述	318
17.7.2	LED背光LCD TV的技术进展	320
17.8	微型投影机	323
17.8.1	微型投影之光源——HBLED	323
17.8.2	微型显示器件	323
17.8.3	微型投影机研发现状和市场前景	325
17.9	通用照明	326
17.9.1	便携式照明	326
17.9.2	室内照明	327

17.9.3 室外照明	342
17.10 光源效率和照明系统整体效率	361
第 18 章 半导体照明技术、市场现状和展望	363
18.1 LED 外延.....	363
18.1.1 衬底	363
18.1.2 InGaN MOCVD 设备的发展	364
18.1.3 外延工艺进展	364
18.2 LED 芯片技术.....	364
18.3 LED 封装技术.....	365
18.4 LED 发光效率的发展.....	365
18.4.1 功率 LED	366
18.4.2 功率 LED 的研制方向	366
18.4.3 功率 LED 组件——应用热管技术	366
18.5 市场现状和预测.....	366
18.5.1 高亮度 LED 市场现状和预测.....	366
18.5.2 中国 LED 应用市场现状和预测	367
18.6 半导体照明发展目标.....	368
参考文献.....	369

第 1 章

光 视觉 颜色

1.1 光

1.1.1 光的本质

什么是光？光的本质是什么？这是一个难以用简单语句表述的问题。光的传播、干涉、衍射和偏振现象可以用波动学说来解释，早在 1864 年，麦克斯韦就提出了光是一电磁波的理论。而在考虑光和物质粒子相互作用的场合里，光就又具有粒子的性质了。例如，作为光电管机理的光电效应，当光照射到金属板上时，金属中的电子吸收光的能量而逸出金属板，一个电子从光吸收的能量是一定的，这能量值为 $h\nu$ ，普朗克常数 $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$ ， ν 称为光的振动频率，单位是 Hz。电子从光吸收的能量 $h\nu$ 不是分成许多次如每次为 $0.1h\nu$ 或 $0.01h\nu$ 吸收的，电子只是每次吸收一个 $h\nu$ 单位能量。电子吸收的能量大于此值，则逸出金属，小于此值则不逸出。按照通常道理理解，在以极弱的光长时间照射金属时，由于金属板中的电子长时间地一点一点吸收能量，金属板中的电子迟早会逸出金属。然而，事实并非如此，即 $h\nu$ 只和照射光的频率有关，当此频率达到电子能逸出的频率时，不管光如何弱，电子都会逸出。光的强弱与每秒钟内逸出的电子数有关，而与是否能逸出无关。就是说，逸出电子的动能与光的强度无关，而简单地依赖于频率，即随频率线性增加。为了解释这个现象，必须认为光波中的能量，即一份一份的 $h\nu$ 附于一个一个的粒子中，这种粒子就是光子，光线就是流动的光子。这就是光的波粒二重性。

光的波动性，是指光是一种电磁波。图 1-1 所示为各种不同波长的电磁波频谱。从中可以看出，作为可见光，它只占极小的一部分，和其他电磁波一样，它也具有波长、频率、发射、吸收、传播速度等特性。电磁波能量的传播称为辐射，辐射在通过物质时一般不改变频率，速度则随物质而改变。在真空中，光速是一常数 $c = 2.9979 \times 10^8 \text{m/s}$ ，光的速度、频率与波长之间的关系为：

$$c = \lambda\nu \quad (1-1)$$

其中， λ 为波长。

电磁波包括电波、微波、红外线、可见光、紫外线、X 射线、 γ 射线、宇宙射线等。通常所谓的光就是指人眼所能感觉到的辐射，称可见光，波长范围从 380 ~ 780nm。由单一波长组成的光称为单色光。实际上，严格意义上的单色光几乎是不存在的，所有光源所产生的光至少要占据很窄的一段波带。激光可以说是最接近于理想单色光的光源。

到达地球表面的太阳光的波长范围从 290 ~ 1700nm，比可见光范围宽得多。波长短于

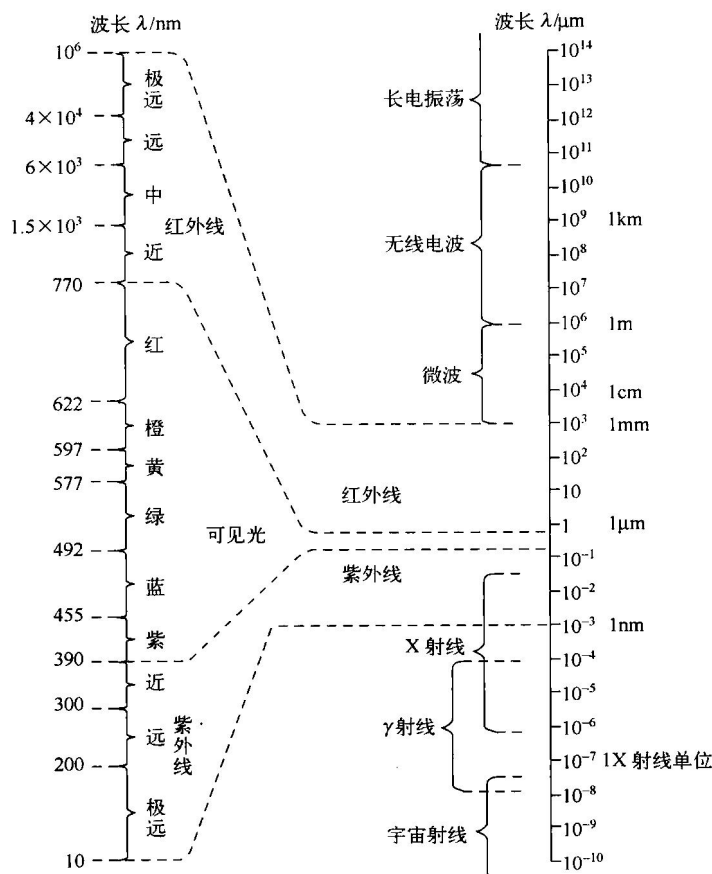


图 1-1 电磁波频谱

290nm 的太阳辐射光被大气层中较高部位的臭氧所吸收,而波长大于 1700nm 的部分则被大气层中较低部位的水气和二氧化碳强烈吸收。波长超出可见光谱的紫色和红色两端的电磁辐射,分别称为紫外辐射和红外辐射。紫外延伸至 1nm,红外延伸到 1mm。虽然人眼不能感觉紫外和红外辐射的存在,但从生理上是能感觉到的,如果辐射强度足够的话,人们会感到皮肤发热,所以所有辐射一旦被吸收都能产生热,并不是像通常所认为的只有红外辐射才伴随有特殊的发热效应。此外,波长小于 320nm 的紫外辐射对生物组织有损害,照射皮肤过久,往往会使皮肤发红和起疱。

光的微粒性就是指光束是微粒流,发光体不断发射出微粒,微粒的运动速度就是光速,这些粒子就是光子。不同波长的光,具有不同的能量,即由不同能量的光子组成。光子具有的能量 E 正比于光的频率:

$$E = h\nu \quad (1-2)$$

光子所具有的能量 $h\nu$ 是频率为 ν 的光所具有的能量最小单位,不能再分割了,故光子又称光子。在光和其他物质相互作用时,能量的交换是以 $h\nu$ 的形式一份一份地进行的,也就是说,能量是不连续的。

1.1.2 光的产生和传播

1.1.2.1 光的产生

通常,光按两种方式产生,即温度辐射和发光。

温度辐射又称热辐射,就是指物质在高温下辐射出热能。蜡烛、白炽灯的发热就是人所共知的现象。在热辐射进程中,发出辐射的物体内部能量并不改变,只依靠加热来维持它的温度,使辐射得以持续地进行下去。低温时辐射发红外光,500℃左右即开始辐射暗红色的可见光,温度越高,短波长的辐射便更丰富,1500℃时即发出白炽光,其中相当多的是紫外光。对某一温度下,作为最大温度辐射的物体,称为黑体,这种辐射即是黑体辐射。黑色的物体对光和热有良好的吸收作用,辐射是吸收的逆进程。因此吸收好的黑体其辐射也最大。通常的标准灯便是热辐射光源,这种光源有两个主要参数:一个是描述发光强弱的,称光强;另一个是描述光源的辐射能量随波长变化的光谱分布的,称色温。当某一白炽灯光源的光谱分布和温度为 T 的黑体的辐射的光谱分布相同时, T 即为该光源的色温。黑体辐射的能量分布曲线 $E(\lambda)$ 可由普朗克公式描述为:

$$E(\lambda) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} \quad (\text{W/m}^3) \quad (1-3)$$

式中, λ 为波长(m); h 为普朗克常数(J/s); c 是真空中光速(m/s); k 为玻耳兹曼常数(J/K); T 是绝对温度(K)。

当知道光源的色温,即可由式(1-3)求得其光谱分布。不同温度黑体辐射的能量分布见图1-2。

发光是发光物体依靠除温度以外的原因产生可见光的现象的总称。发光就是其他任何种类能量转换成光能的过程,通常通过激发过程来完成,所以又称激发发光。由于物质的种类和激发的种类不同,它发出光的波长范围也不同。按激发的方式不同分如下几类:

(1) 生物发光:萤火虫、发光细菌等的生物发光。

(2) 化学发光:由化学反应直接引起的发光,物质的燃烧属于化学反应,由这种反应引起的发光是热辐射。黄磷因氧化而自燃发光就是这种例子。

(3) 光致发光:由光、紫外线、X射线等激发而引起的发光。由汞蒸气产生的紫外线激发荧光粉,能高效率地转变为可见光,这就是已广泛使用的荧光灯。X射线和 γ 射线激发也能产生可见光。

(4) 阴极射线发光:由电子束激发荧光物质发光,其应用例子是电视机的显像管,又称阴极射线管。

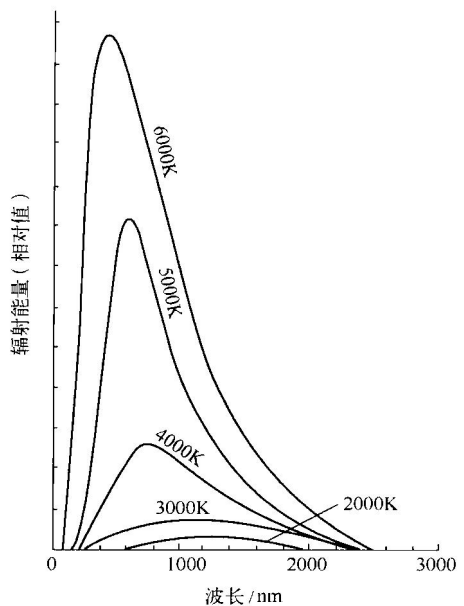


图1-2 不同温度黑体辐射的能量分布

(5) 燃烧发光:碱金属和碱土金属及其盐类,放在火中发出特有的光,被用做焰色反应,如钠离子为黄光、锶离子为猩红色光等。

(6) 电致发光:没有像白炽灯那样转变为热能再发光的现象,而直接由电能转变为光能。

1) 气体或伴随气体放电而发光,如霓虹灯和各种放电灯。

2) 加交流或直流电场于硫化锌等粉末材料产生发光,如场致发光板。

3) 在磷化镓、磷砷化镓、镓铝砷、铟镓铝磷、铟镓氮等一类半导体 PN 结处注入载流子时的发光,如通常的发光二极管。还有一些小分子有机物或聚合物半导体制成有机物发光二极管的发光。

激发是一个能量转移过程。一个系统得到激发,得到能量由低能态 E_1 跃迁到高能态 E_2 , 当它由高能态回到低能态时,根据能量守恒原理,多余的能量就可能以光的形式释放出来,这就是激发发光。发光波长的长短决定于能量差 $\Delta E = E_2 - E_1$, ΔE 正是发射的光子所具有的能量,由式(1-1)和式(1-2)得:

$$\Delta E = h\nu = hc/\lambda \quad (1-4)$$

当由高能态回到低能态时,不一定就有辐射,非辐射复合还是存在的,在实际激发过程中,要使辐射复合增加,应尽量减少非辐射复合。

1.1.2.2 光的传播

光在真空中以 3×10^8 m/s 的速度沿直线传播。当通过某种媒质时,例如空气或玻璃,其传播速度就会减小。光在真空中的速度和在媒质中的速度的比值就称为该媒质的折射率。

任何类型的光,其传播速度 c 等于波长 λ 和频率 ν 的乘积,如式(1-1)。式中,频率由每秒内通过某一固定点的波数所确定。例如波长为 400nm 的紫色光,在真空中的频率为 7.5×10^{14} Hz;而波长为 750nm 的红光,在真空中的频率为 4×10^{14} Hz。

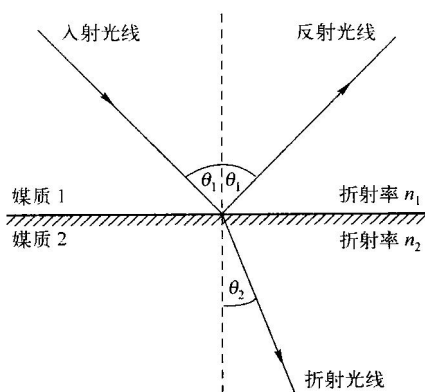


图 1-3 两种媒质界面上的反射和折射

在折射率不同的两种媒质的界面上,入射光线会分成两部分,一部分反射回第一种媒质,另一部分则折射入第二种媒质,如图 1-3 所示。

(1) 镜面反射定律

在和入射光波长相比为光滑的界面上所产生的反射称为镜面反射。入射光线、反射光线以及过入射点的界面法线都位于同一个平面。入射光线、反射光线与法线的夹角相等,分别位于法线的两边。

反射光线和入射光线的能量之比,除受其他因素的影响外,主要取决于两种媒质折射率的比值和入射角的大小。入射角越接近 90° 时,反射光的能量比就越接近于 100%。

(2) 折射定律

光线穿过光滑界面进入第二种媒质时,会按下述规律改变方向:入射光线、折射光线以及过入射点的界面法线都位于同一个平面。如果入射光线处在折射率为 n_1 的媒质中,且和法线的夹角是 θ_1 ,折射光线处在折射率为 n_2 的媒质中,且和法线的夹角是 θ_2 ,则

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1-5)$$